

“マスカット”ブドウ温室における 未利用エネルギーの開発(予報)

中野 幹夫・工藤久美寿・松田 政紀・片岡 衛

緒 言

近年、石油価格の高騰によりエネルギーの有限観が一般に認識され、その有効利用と未開発エネルギーに関する研究が盛んになった。岡山県は気候的立地条件にも恵まれており、既に施設を備えている温室ブドウの栽培にあたっては一層の研究、応用が図られるべきである。

「施設園芸省エネルギー対策委員会」の報告によるとエネルギーの節約については、

1. 暖房熱損失の軽減
2. 燃焼設備の熱効率の向上

があげられ、未利用エネルギーの利用として、

1. 太陽エネルギーの利用(内・外部集熱)
2. 地熱水の利用(温水, 地下水)
3. 風力の利用
4. 産業廃棄物の利用

などがあげられている。

そこで“エネルギーの節約(省エネ) + 補助エネルギーとしての未利用エネルギーの利用”によるブドウ栽培を立案した。これらの対策には利害得失があり、既に若干の報告もある。そこで既報を参考に以下の実験施設を計画した。今回はこの施設の有効性を検討すると共に、基礎データの集録を目的とした。

材料及び方法

温室は本農場果樹園装置化施設内の小温室である。本温室内には中央及び両サイドにトレントチがあり、これを水槽として利用した。概略は第1図及び以下のようなものである。

温室面積: $85 m^2$ (耕土面積 $45 m^2$)

表面積: $240 m^2$ (サイドは二重ガラス $145 m^2$)

貯水槽体積: 約 $16 m^3$ (中央水槽 $6.4 m^3$ の内パイプ部分以外の貯水量 $5.5 m^3$)

地中熱交換用配管: $\phi 25 mm$, 地下 $20 cm$ に長さ $30 cm$ 間隔で 18 本埋設, 全表面積 $11.6 m^2$

水中熱交換用配管: $\phi 50 mm$, 長さ約 $7 m$, 63

本埋設, 全表面積 $138.5 m^2$

地下水噴霧用配管: $\phi 50 mm$, 長さ $7.5 m$, 2 本
ノズル間隔 $30 cm$

保温用内張り被覆: 天井部-塩ビ, 不織布,
アルミ蒸発フィルム の
三重, サイド-塩ビ,
北側のみアルミ蒸着フィルムとの二重カーテン

その他: 地下水汲上用加圧ポンプ $60 \ell/min$,
水中熱交換用ファン $65 m^3/min$

結果と考察

1. 熱収支の試算

装置の立案・設計にあたって、既報を参考に熱収支を試算した。

1-1, 必要暖房熱量

必要暖房熱量は約 $120,000 \frac{kcal}{day}$ とされた。

$$H = A_w \cdot K \cdot Dh \cdots \cdots (1)$$

H : 1 日当必要熱量 $Kcal/day$

A_w : 全温室表面積 = $240 m^2$

K : 暖房負荷係数(ガラス室三重内張り) = 2.5

Dh : 暖房デグリーアワー = $2.18 \times (T_c - T_{min})^{1.66} = 195^\circ C \cdot day$

但し, T_c : 限界設定室温 = $10^\circ C$

T_{min} : 外気最低温度 = $-5^\circ C$

1-2, 供給熱量

1 月の晴天日における日射量は $2,500 \sim 3,000 Kcal/m^2 \cdot day$ ある。室内への透過率を 50% と仮定すると本温室へは $106,000 \sim 127,000 Kcal/day$ の熱量がもたらされていることになり、この有効利用だけで前記必要熱量をはばまかなえることになる。しかし、曇雨天日、室内透過率、蓄放熱効率などの問題がある。そこで各装置によ

る熱放出量について試算する。

a) 内張り被覆による保温

積極的な熱供給ではないが、内張りの保温的エネルギー効率は、ビニール内張り一重で 26.8%，二重で 34.4% の節約が示されており³⁾、三重被覆では 40% 以上の効果を期待した。

b) 地下水による地中熱交換

本装置が利用する井戸の可能取水量は約 $250 \text{ m}^3/\text{h}$ とされ、また地下水の温度は第 1 表のようであった。地下水量及び水温とも冬期温室の暖房に充分活用できうるものとする。

導入された地下水は、地下 20 cm に埋設された塩ビ・パイプを通じ土壌と熱交換される。熱交換率を高めるため東西両ブロックへはタイマー付電磁弁により交互に切り換え通水される。

同様の方法による熱収支の実測例はあるが温度条件が異なる。25℃ の温度を 15 分ずつ断続給水した場合、パイプ 1 m 当りの放熱量は約 18 Kcal であった⁷⁾。この値を引用すると

$$18 \text{ Kcal} \times 60 \text{ min} / 15 \text{ min} \times 8 \text{ hr} \times 7 \text{ m} \times 18 \text{ 本} = 72,000 \text{ Kcal/day}$$

となる。しかし、水温の違い、あるいは放熱エネルギーが全て室温維持に使用され得ないことなどから、この値はあまり期待しなかった。

c) 地下水噴霧による熱交換

温室内側の両サイドに塩ビ・フィルムを 20 cm 間隔で 2 枚垂らし、上方に配管した塩ビ・パイプからミストを噴霧し放熱させる。報告^{4,8)}によるとこのような装置 1 m 当りの放出熱量は水温 10

第 1 表 地下水の深さと水温

調査年月日	深さ m	温度 °C
1971. 6.	27 5.12 ~ 5.37	17.0
	28 4.75 ~ 5.0.0	17.0
	29 3.0.5 ~ 3.3.0	16.9
	30 1.9.5 ~ 2.2.0	16.1
	7. 1 1.4.5 ~ 1.7.0	16.0
	2 7.0 ~ 9.5	16.0
1980. 2.	19 8.5	17.0 ※
	19 5.0 ※※	19.5

※ 温度計挿入による。他は汲上げ後の水温。

※※ 深さは推定。

〜13℃ の場合でも $120 \sim 360 \text{ Kcal/h}$ である。

本温室に適用した場合

$$120 \sim 360 \text{ Kcal/h} \times 8 \text{ m} \times 2 \times 8 \text{ hr} = 15,400 \sim 46,000 \text{ Kcal/day}$$

となり、地下水温 16℃ は確保されると思われるのでこれ以上の効果を期待した。

d) 水中熱交換

内張り被覆により保温が図られると、冬期においても晴天日に昼間換気が必要である。従来、この余熱は外部へ放出されていた。ここでは前記 b) と c) で利用した水を貯水槽に貯え、この中で熱交換することにより夜間の暖房に利用する。

地中熱交換方式については既にいくつかの報告がある¹⁾。地中熱交換の場合パイプ 1 m 当りの熱放出量は $12 \sim 16 \text{ Kcal/h}$ とされ、本装置に適用すると

$$12 \sim 16 \text{ Kcal} \times 7 \text{ m} \times 63 \text{ 本} \times 8 \text{ hr} = 42,000 \sim 56,000 \text{ Kcal/day}$$

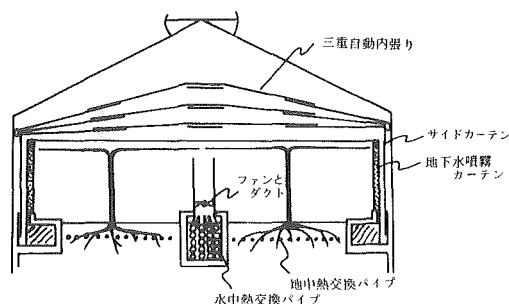
となる。なお本装置は水との熱交換であるので熱交換効率はより高いものと期待した。

以上の概数には理論上多少の増減は考えられるし、これらのものを併用すれば単独の場合より効率は低下しよう。あえて総括すると地中熱交換で 7.2 万、地下水噴霧で 4.6 万、水中熱交換で 5.0 万、合計 16.8 万 Kcal/day の熱量の供給が期待され、本温室を最低 10℃ には維持できるものと推察した。

2. 各装置の効能

a) 内張り被覆

内張り被覆取付け前後 10 日間 の温室内外の平均最高・低気温と室内の日射量を第 2 表に示



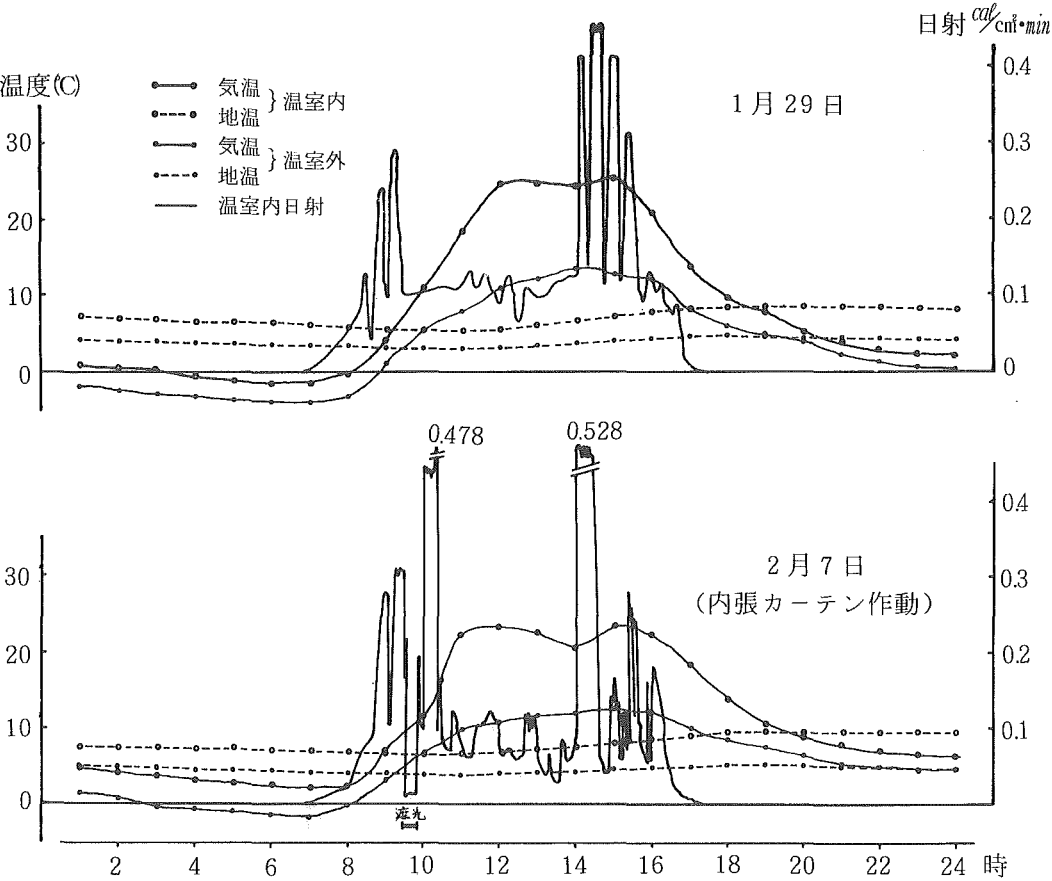
第 1 図 ブドウ温室と省エネルギー装置

した。自動被覆カーテンがあるので昼間全開しても約2割の遮光部分が生じた。戸外の最低気温は前半が -1.8°C に対し、後半は 1.3°C であった。また室内のそれは 0.1°C に対し、 4.7°C となった。したがって室内外の最低気温の差は前半が 1.9°C に対し、後半は 3.4°C となり、内張りによる保温効果は 1.5°C であった。また、前日の室内日射量のほぼ等しい1月28日(63.1

$\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$)と2月6日($62.7\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$)の翌朝における温室内外の最低気温の差を比較すると、それぞれ 2.6°C と 4.1°C であった(第2図)。さらに室内温度が 10°C をきる夕方6時より翌朝10時までの16時間の室内外の気温差を積算すると $48.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{時}$ (平均 $3.0^{\circ}\text{C}/\text{時}$)と $53.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{時}$ (平均 $3.3^{\circ}\text{C}/\text{時}$)となり、その差はごくわずかであった。

第2表 内張り自動カーテンによる保温効果

期 間 (月/日)	処 理	気 温 ℃				室内日射量 cal/cm ² ・day
		戸 外		室 内		
		最高	最低	最高	最低	
1/27 ~ 2/ 5	無 処 理	14.7	-1.8	21.6	0.1	54.2
2/ 6 ~ 2/15	カ ー テ ン	13.5	1.3	21.6	4.7	45.7
2/16 ~ 2/25	カーテン+貯水	15.4	1.1	25.4	6.4	46.1



第2図 内張自動カーテンが夜間の保温に及ぼす影響

なお地下水を合計7時間導入し、地中熱交換した排水を貯水槽内に貯えたその後10日間の平均値も第2表に示した。室内外の最低気温差は5.3℃となり、内張りカーテンのみによる保温効果より大きかった。

b) 地中熱交換

2月17日 井戸から汲上げた水温は17.2℃であった。約100mの地中配管（保温材被覆）後、温室内において測定した水温は17.1℃であった。室内の地下両ブロックへはタイマー付電磁弁により交互に15分間ずつ3回給水した。地中パイプ直上の地温は12.8℃から1時間後には14.5℃に上昇した。貯水槽内に排水された水温は16.9℃であり、0.2℃の水温エネルギーが地中へ取込まれた。

カロリー計算をすると

$0.2\text{Kcal} \times 60\text{ l/min} \times 60\text{ min} \times 24\text{ hr} = 17,000\text{ Kcal/day}$ となる。

c) 噴霧熱交換

50年に一度という大寒波がきて-9.1℃を記録した2月26日20時から翌朝9時まで地下水を噴霧した。同時に地中熱交換も行った。

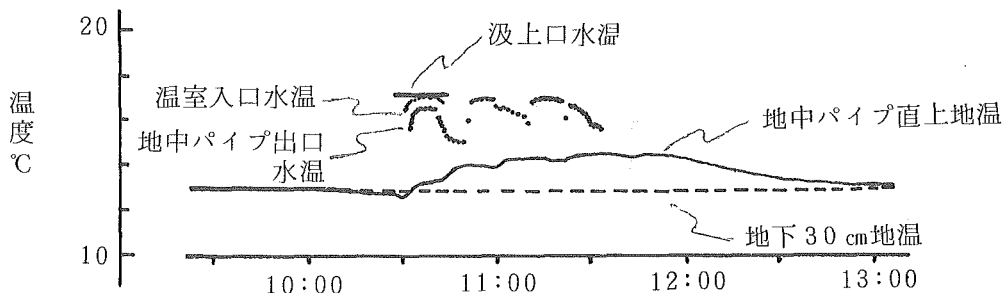
第4図に示すように室内温度は噴霧後1時間で平衡に達し4.5℃を示し、室内外気温差は13.6℃にも及んだ。これを前記

(1)式に代入すると

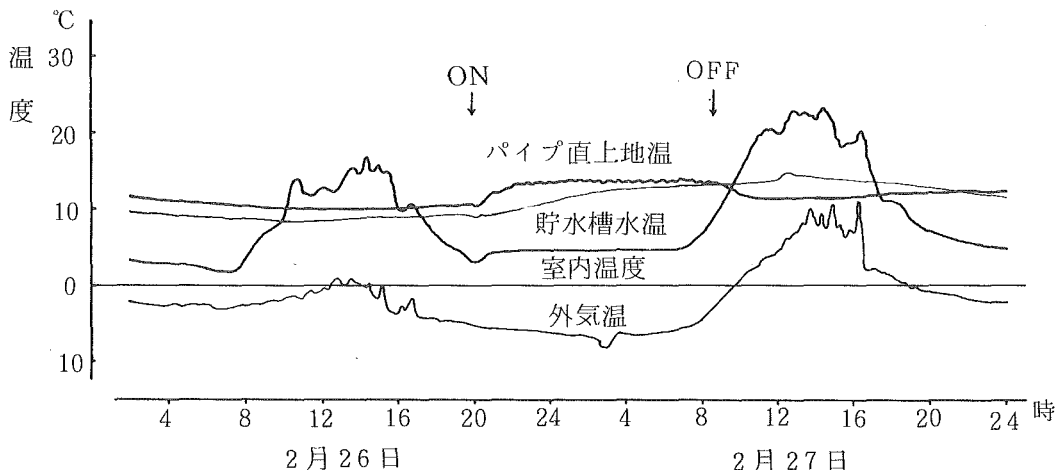
$H = 240\text{ m}^2 \times 2.5 \times 2.18 (1.36)^{1.66} = 99,600\text{ Kcal/day}$ となる。

d) 水中熱交換

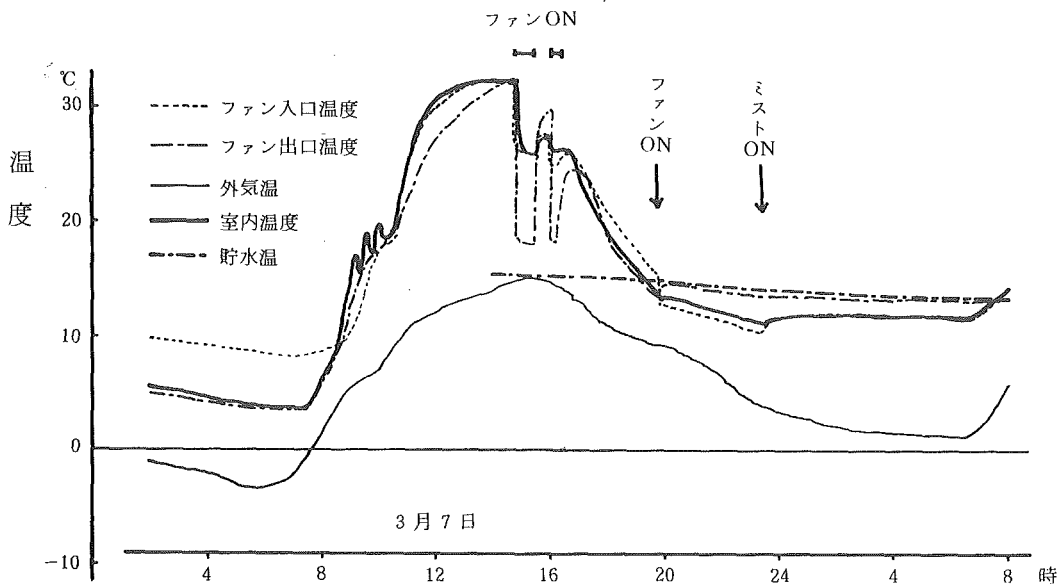
3月7日14時過ぎ、室温32℃の時水中熱交換用ファン出入口の温度は33℃と32.5℃であった。ファン作動後45分の室温、ファン入口温度共に25.8℃となった。ファン出口温度は約8分後に17.9℃と急降し、45分後には17.5℃となった（第5図）。したがって45分間のファン作動で室温は6.2℃、ファン出口温度は15.5℃低下した。



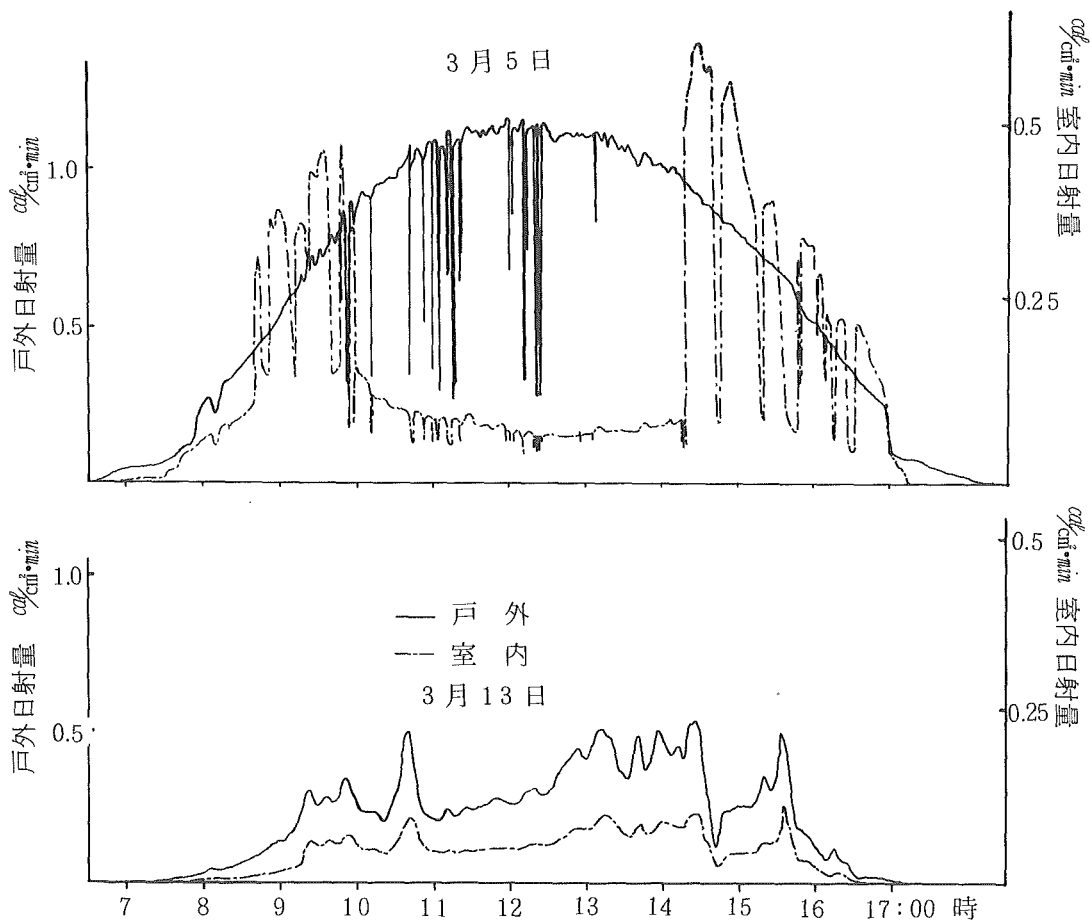
第3図 地下水による地中熱交換



第4図 地下水の噴霧及び地中熱交換による暖房



第5図 換気ファンによる水中熱交換



第6図 晴曇天日の温室内外の日射量

同夜 19 時 45 分、室温、ファン出口温度とも 13.2℃、水温 15.1℃の時ファンを作動させた。10 分後室温は 0.1℃、ファン出口温度は 1.1℃上昇した。

また、23 時 30 分地下水噴霧を行うと約 15 時間後室温は 0.9℃上昇した。ファン及び噴霧を続けると、同夜の外気最低気温は 1.0℃、室内気温は 11.5℃となり、内外温度差は 10.5℃であった。この場合の温室全体からの全エネルギー供給量を(1)式より求めると

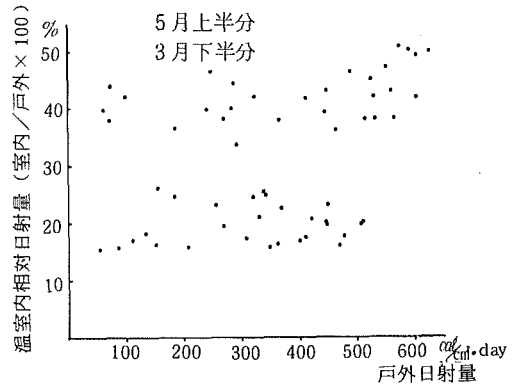
$H = 240m^2 \times 2.5 \times 2.18(10.5)^{1.66} = 64,800 \text{ Kcal/day}$ となる。

3. 日 射 量

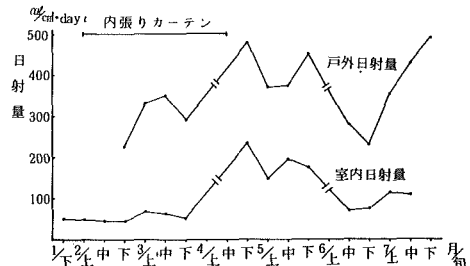
保温性のよい温室については、半地下温室（トレンチハウス）とかガラス面を二重構造としその中に発泡スチロール粒を詰めるペレットハウスなどの例がある。しかし、簡易に既存温室に応用できるものとしては多層内張りカーテンが最良であろう。これらの設備は遮光面積を増す。

第 6 図は晴天日（3 月 5 日）と曇天日（3 月 13 日）における室内外の日射量である。日射量の少ない曇天日の室内日射は、ほぼ戸外の日射強度に対応して増減し約 $\frac{1}{4}$ の値となっていた。しかし、晴天日には温室の鉄骨フレームやたたんだ内張りカーテンなどで遮光される影響が強く現われ、棟の真下におかれた日射計では戸外の $\frac{1}{10}$ 以下の値となり、その影響は 4 時間以上にも及んだ。

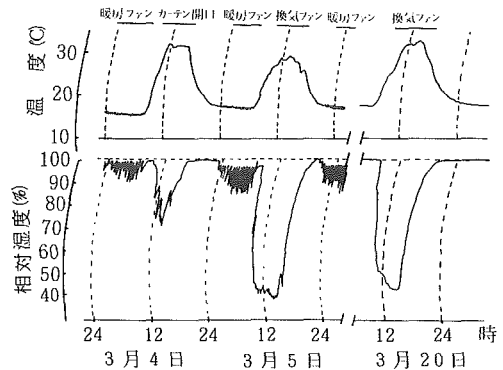
なお、カーテン取付け前後における室内への日射量と戸外の日射量を比較し、その透過率をみると、透過率は戸外の日射量の大小とは関係なかった（第 7 図、第 8 図）。すなわち、カーテン取付け中の 2 月、3 月では戸外の約 20%，カーテン除去後の 4、5、6、7 月では約 40%であった。ちなみに比較的安定した“くもり”の状態では室内外の日射量がそれぞれ $0.268 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ と $0.050 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ であったとき、照度はそれぞれ 29,600 lux と 11,000 lux であり、前者は約 $\frac{1}{5}$ 、後者は約 $\frac{1}{3}$ を示した。したがって見かけ上室内の明るさはある程度あっても、日射量はかなり低下していると言える。



第 7 図 戸外日射量と室内相対日射量の関係



第 8 図 温室内外の旬別平均日射量 (1981)



第 9 図 ファン作動が相対湿度に及ぼす影響

4. 湿 度

保温性を高めるために内張りカーテンを使用すると室内温度は上昇し、夕方より“もや”が発生し、ブドウの葉及び根に異常が観察された⁶⁾。この対策として夜間ファンによる空氣の攪拌、マルチングによる土面蒸発の抑制、あるいは積

第3表 温室内の土面蒸発量

期 間 月/日・時刻	土面蒸発量 $g/100cm^2 \cdot hr$	条 件
2/27・15:30 ~ 3/2・11:00	0.20	曇天日・カーテン開閉
3/ 2・11:30 ~ 3/2・17:00	0.72	晴・昼間・カーテン開
3/ 2・17:30 ~ 3/3・ 9:00	0.15	晴・夜間・暖房
3/ 3・ 9:30 ~ 3/9・16:00	0.21	晴天日多し・4日より換気
3/31・18:00 ~ 4/8・10:00	0.12	カーテン除去・シキワラ

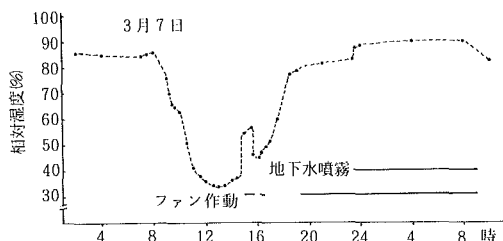
極的な除湿機の設置などが考えられる。

第9図は別温室においてファンを使用した場合の相対湿度の変化をみたものである。3月4日の前夜は温湯暖房機の熱交換用ファンを作動し、昼間は内張りカーテンの一部を開いた。夜は湿度90~100%で推移し、昼間は70~80%であった。同日夕方、内張りカーテンに換気用ダクトとファンを設けた。昼間室温が上昇すると作動させた。ダクト開口部は夜間加温用ファンの風圧によって、多少開口したものと考えられる。3月5日は昼間湿度40%、夜間85~97%くらいとなった。しかし、昼間換気ファンのみ動かし、夜間暖房しなかった3月20日の例では、昼間湿度は45%まで低下したが夜間はほぼ100%となった。

缶に詰めた土壌表面からの蒸発量を重量で測定した。マルチ材として稲わらを敷くと土面蒸発は約1/2に抑えられた(第3表)。

2月下旬から3月上旬の晴雨天日を含めた内張り温室での土面蒸発は0.20~0.21 $g/100cm^2 \cdot hr$ で、稲わらを敷いた4月上旬の平均値は内張り除去後であっても0.12 $g/100cm^2 \cdot hr$ となった。なお、内張りカーテンを開口した昼間には0.72 $g/100cm^2 \cdot hr$ 、暖房用ファンを作動させた同日夜間のそれは0.15 $g/100cm^2 \cdot hr$ であった。

実験温室において地下水噴霧暖房を行った。3月7日の相対湿度を第10図に示した。前夜85



第10図 地下水噴霧暖房による相対湿度の変化

%であったものが噴霧暖房を行うと90%を示し約5%上昇した。なお、噴霧はサイドカーテン内の密閉させた中で行なわれたが貯水層にはふたをしなかった。また、水中熱交換用のパイプ最下段には結露した水を排水するサイフォンを設けている。

ま と め

本実験温室を10℃以上に維持するためには約120,000Kcal/dayの熱量が必量とされ、装置の立案段階では約168,000Kcal/dayの熱量供給が見込まれた。しかし、実験は一部装置の不備により試運転程度に止まった。

1月21日に閉室し、2月6日から内張り三重自動カーテンを稼動した。発芽始めは3月12日満開が5月8日、収穫は9月7日(9月1日に糖度17°)から行った。1月中旬閉室し、ほぼ同様の管理を行った。1968年~1970年の3ヶ年間の発芽始めは3月20日~25日、満開は5月6日~8日、収穫始めは9月17日~10月2日であった。

満開日はほぼ同時期であったが、発芽及び収穫始めはやや早まった。

内張りカーテン被覆後10日間の内外最低気温較差は3.4℃となった。温室内に透過した光エネルギーの一部は昼間土中に貯えられ、夜間室内に放射される。内張りカーテンは室内からの放熱を防ぐことを目的とする。したがってその効果の大小は地温の高低が前提条件である。今回はこの蓄熱量が少なかったことが内外気温差の小さい原因であると考えられる。例えば地下10cmの地温が15~28℃を上下しているビニール一重内張り温室では、内外の最低気温較差は10℃前後となった。したがって、閉室をやや早め、予め地中熱交換して地温を上昇させておく必要がある。

地中熱交換では出入口の水温度から 17,000 Kcal/day の地中への方熱が示された。

噴霧による熱交換では出入口の水温差を測定しておらず、その供給エネルギー量は算出できなかった。ただし、内外最低気温の較差は 13.6℃を記録し、この方法はかなり有効であることが判明した。

水中熱交換での蓄熱時のファン出入口の温度差は 13.3℃、放熱時のそれは 1.1℃であった。空気比熱を $0.4 \text{ Kcal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ として蓄熱量を計算すると 1 時間当たり約 2,000 Kcal となり、昼間 5 時間稼働させると 10,000 Kcal/day となる。また、放熱量は 14 時間稼働させるとして 2,400 Kcal/day となった。この値は見積り量と比べて極めて小さい。

以上のように本実験に関する限り、外気温が 0℃以下となった場合、室内最低気温を 10℃以上に維持することは困難であった。

なお、その主原因は長期間の室内蓄熱が行えなかったこと、さらに日射量の項で示したように、本温室への日射透過率が予想外に低かったことが考えられる。

文 献

- 1) 板木利隆・佐々木皓二：農業電化 **11**, 15-18, 農電協 (1978)
- 2) 古在豊樹：昭和 55 年 秋園芸学会シンポジウム要旨, 41-48, (1980)
- 3) 施設園芸省エネルギー対策委員会：農業電化 **7**, 20-25, 農電協 (1978)
- 4) 橘 学男：農業電化 **6**, 26-31, 農電協 (1978)
- 5) 中野幹夫・鈴木 実・島村和夫：岡山大農学報 **53**, 43-54 (1979)
- 6) 中野幹夫ら：岡山大農場報告 **3**, 17-21 (1980)
- 7) 農電協中国支部：農業電化別冊, 31-36 農電協 (1975)
- 8) 農電協東北支部：農業電化別冊, 8-11 農電協 (1975)
- 9) 山本雄二郎：農業電化 **2**, 22-24, 農電協 (1978)